

**Welchen Einfluß hat die Behandlung  
des Dentins auf die Haftintensität  
des Phosphatzementes?**

Hans-Joachim Gutsche

1961





Digitized by the Internet Archive  
in 2026







AUS DER KONSERVIERENDEN ABTEILUNG  
Vorstand : Prof. Dr. Dr. M. Schug-Kösters  
DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN  
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Direktor : Prof. Dr. Dr. J. Heiss

---

**Welchen Einfluß hat die Behandlung  
des Dentins auf die Haftintensität  
des Phosphatzementes?**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde  
verfaßt und  
einer Hohen Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
**Hans-Joachim Gutsche**  
aus Landsberg/Warthe

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Referent: Professor Dr.Dr. M. SCHUG-KÖSTERS  
Dekan: Professor Dr.Dr. H. EYER

Tag der mündlichen Prüfung: 21.2.1961



MEINER LIEBEN FRAU IN DANKBARKEIT



## INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Problemstellung - unter Berücksichtigung der in der Literatur vorhandenen Ansichten und Resultate anderer Autoren
3. Eigene Versuchsanordnung
4. Eigene Ergebnisse und statistische Auswertung
5. Kritische Betrachtungen
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis
8. Anhang

Lebenslauf



## EINLEITUNG

Unter den therapeutischen Mitteln, die dem Zahnarzt zur Verfügung stehen, haben die Zemente schon immer einen wichtigen Platz eingenommen.

Die Verwendung von Zementen für die Zahnheilkunde lässt sich bis zum Anfang des vorigen Jahrhunderts zurückverfolgen. OSTERMANN (16) brachte 1832 die erste Mischungsformel für ein Zement heraus, welches zur konservierenden Versorgung defekter Zähne verwendbar erscheint. Die Mischungsformel lautet: "Man nehme 13 Teile feinen Kalkstaub und 12 Teile wasserfreie Phosphorsäure. Diese Verbindung wird während der Mischung feucht gemacht und muss in diesem Zustand in die Kavität des Zahnes eingefüllt werden."

Diese Art des Zementes kann als Vorläufer des heute allgemein gebräuchlichen Phosphatzementes angesehen werden, insofern, als der Ersatz des Calciumoxyds durch Zinkoxyd eine logische Entwicklung gewesen sein dürfte.

Der französische Chemiker SORELL (16) entdeckte dann 1855 das Zinkoxydchloridzement und schlug dessen Verwendung als Zahnzement vor, bis dann PEIRCE (16) durch Mischung von pulverisiertem Zinkoxyd mit Phosphorsäure das erste Phosphatzement herstellte. Damit war auch der Weg frei zur Entwicklung der viel zahnähnlicheren Silikatzemente.

Die von MILLER aufgestellten klassischen Forderungen an ein Füllungsmaterial zeigen uns jedoch die Schwierigkeiten auf, denen wir gegenüberstehen. Und es ist eine Tatsache, dass uns trotz des bestechenden Fortschritts der Wissenschaft und Technik bis heute noch kein Füllungsmaterial in die Hand gegeben wurde, das allen Anforderungen gerecht wird.

Bei den Silikatzementen, die hier nur am Rande erwähnt werden sollen, imponiert vor allem die Transparenz und die dadurch erzielbare zahnähnliche Farbe. Als Nachteile treten jedoch Volumenschwankung, geringe Härte und Kantenfestigkeit, später eintretende Verfärbung und ganz besonders die Pulpenschädlichkeit auf.

Die Zinkoxydphosphatzemente zeigen eine unbelebte, opake Oberfläche, ebenfalls unzureichende Härte und Kantenfestigkeit und unterliegen im Munde einer langsamen chemischen Auflösung.

Die Haftintensität an den Kavitätenwänden ist dafür gegenüber dem Silikatzement gut und ermöglicht deshalb eine vielseitige Anwendung: als Abschluss von Wurzelfüllungen, Pulpenschutz, Unterfüllung, Aufbau von Stufen unter Metallfüllungen, zum Einsetzen von Gussfüllungen, Porzellanfüllungen, Kronen- und Brückenarbeiten.

Die Tatsache, dass gegenüber der Pulpa eine relativ gute Verträglichkeit des Zementes besteht und dass zum Fixieren von konservierenden bzw. prothetischen Arbeiten bisher durchaus befriedigende Ergebnisse erzielt werden konnten, liess

das Zinkoxydphosphatzement weitaus am häufigsten zur Anwendung kommen.

Das Zinkoxydphosphatzement setzt sich aus Pulver und Flüssigkeit zusammen. Das Pulver enthält hauptsächlich karbonatfreies Zinkoxyd und Magnesiumoxyd, daneben geringe Zusätze von Siliciumoxyd und Aluminiumoxyd. Bei der Flüssigkeit handelt es sich um Orthophosphorsaure mit Zusätzen von Aluminium und Zinkoxyd.

Die genaue Zusammensetzung von beiden Bestandteilen sind Fabrikgeheimnisse.

Über die Abbindevorgänge zwischen Flüssigkeit und Pulver herrschen ebenfalls noch Unklarheiten. Die Bildung von kristallinem Phosphat scheint vorherrschend zu sein und die Abbindung der Rest-Saure nach kurzer Zeit zu erfolgen.

Das bedeutsame Merkmal des Phosphatzementes ist also die Eigenschaft der besonders guten Haftintensität. Ausserdem bietet das Zinkoxydphosphatzement noch immer eine ausserordentlich gute Isolation gegenüber den pulpenschädigenden Einwirkungen, die einmal bei Anwendung von Silikatzementen auftreten und zum anderen durch thermische Reize verursacht werden.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Prüfung der Haftintensität zwischen Zinkoxydphosphatzement und Dentin in Beziehung zu dessen Oberflächenbehandlung.

## PROBLEMSTELLUNG - UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER IN DER LITERATUR VORHANDENEN ANSICHTEN UND RESULTATE ANDERER AUTOREN

Die zahnärztlichen Materialien unterliegen bestimmten Untersuchungen und Prüfungen, die in besonderen Materialprüfungsanstalten durchgeführt werden. Zwar geben diese Untersuchungen wertvolle Anhaltspunkte über bestimmte Eigenschaften der Materialien im Laboratoriumsversuch, doch eine abschliessende Beurteilung über die Eignung des Materials kann, so führt HESS (8) aus, erst durch Prüfung im Munde selbst erfolgen.

Die Mundhöhle, die mit dem ihr eigenen Milieu das Hauptarbeitsfeld des Praktikers darstellt, müsste demnach der Ort der intravitalen Prüfungen der Materialien sein. Erst hier wäre man imstande, deren biologische Einwirkungen auf die Zahnhartsubstanzen, Pulpa, Periodontium und nicht zuletzt auf den Gesamtorganismus zu beurteilen. Dabei erhebt sich die Frage, ob bei einer Materialprüfung die in der Mundhöhle herrschenden Verhältnisse bedingungslos auf den Prüfstand übertragen werden können.

Mit einer rein technologischen Prüfung der Härte, Klebkraft, Festigkeit, Kontraktion usw. - so wertvoll solche Untersuchungen zur Beurteilung eines Zementes auch sein mögen - ist es nicht getan, meint KNAPPWOST (12) und kommt weiter zu der Feststellung, dass die Untersuchungen über Zahnzemente zu den wichtig-

sten und schwierigsten Problemen der zahnärztlichen Werkstoffkunde überhaupt gehören.

Ganz besonders würde dieser Umstand beim Zinkoxydphosphatzement eintreten, handelt es sich hier doch um einen Werkstoff, der unter besonders komplizierten Verhältnissen zu verarbeiten ist.

Aus diesen Gründen erscheint es ratsam, zu einer Vereinfachung der Versuchsanordnung zu greifen. Diese Vereinfachung darf natürlich einen bestimmten Rahmen nicht überschreiten und ist nur soweit berechtigt, wie sie zur Beseitigung von Fehlerquellen notwendig erscheint.

RAWITZER (17), der in seinen allgemeinen Methoden der Materialprüfung unter anderem auch das Problem der Reproduzierbarkeit der Resultate behandelte, schlug ausserdem noch die Abkehr von der Einzelprüfung zugunsten der Massenprüfung vor.

Mit dem Zinkoxydphosphatzement stellt sich uns nun ein Material vor, dessen letzte Geheimnisse noch immer einer endgültigen Klärung bedürfen. Die genaue Zusammensetzung von Pulver und Flüssigkeit sind Fabrikgeheimnisse. Ausserdem herrscht über den Abbindevorgang zwischen Pulver und Flüssigkeit keine Klarheit. Und schliesslich bestehen auch noch über die besondere Eigenschaft der Haftintensität des Phosphatzementes starke Meinungsverschiedenheiten.

Diese Besonderheit des Phosphatzementes war schon oft Gegenstand mannigfacher Untersuchungen. So wird die Eigenschaft der Haftfähigkeit in der Literatur von den verschiedenen Autoren auch mit Klebkraft, Klebrigkeit, Haftvermögen, Haftintensität, Haftfestigkeit und schliesslich auch als Adhäsion bezeichnet.

Mit Adhäsion bezeichnet man physikalisch die Anziehungskraft zwischen den Molekülen verschiedener Körper. Während für FALCK (4) und SPANNER (21) die Adhäsion der Phosphatzemente praktisch gleich Null ist, sprechen KÜBEL (7) und HATTEMER (7) ausdrücklich nur von der Wirkung der Adhäsion. Und REBEL (18) möchte die Adhäsion des Zementes auch noch als Klebkraft bezeichnet wissen.

Das Haftvermögen oder die Haftintensität des erhärteten Phosphatzementes wird von FALCK (4), KUNERT (14), SPANNER (21) und einigen anderen Autoren zum weitaus grössten Teil auf eine mechanische Verzahnung zwischen den verbundenen Oberflächen zurückgeführt. FALCK (4) spricht hier speziell von Verzahnung, während hierfür die Bezeichnung "Haftfestigkeit" von SPANNER (21) gebraucht wird.

Nach FALCK (4) kann von Adhäsion oder Klebrigkeit nur solange die Rede sein, wie der Zement sich noch im plastischen Zustand befindet. Hat sich der Abbindevorgang jedoch vollzogen, so wirken einzig und allein die Verzahnungen dem Auseinanderweichen der beiden verschiedenen Stoffe rein mechanisch entgegen.

KUNERT (14) vertritt den Standpunkt, dass die Haftintensität durch Expansion bewirkt wird, die beim Erhärten des Phosphatzementes auftritt.

SPANNER (21) mochte die Begriffe "Klebrigkeit" und "Haftfestigkeit" scharf getrennt wissen. Ersterer bezieht sich nur auf die frisch angerührte Mischung, während von "Haftfestigkeit" nur beim bereits erhärteten Zement gesprochen werden kann. Von ausschlaggebender Bedeutung ist die Oberflächenbeschaffenheit. Vorhandene Unebenheiten in den Flächen geben dem Zement die Möglichkeit dort einzudringen und sich beim Auskristallisieren (= Erhartungsphase) zu verankern. Massgebend für die Haftintensität eines Zementes seien ausserdem noch dessen Benetzungsfähigkeit und Eigenfestigkeit. Kann doch der Zement umso besser in alle Oberflächenunebenheiten eindringen, je grösser seine Benetzungsfähigkeit ist. Schliesslich stellte er noch heraus, dass sich mit normalhartendem Zement eine höhere Festigkeit erzielen lässt als mit schnellhartendem. Normalhartender Zement behält ja seine plastische Konsistenz länger bei und kann daher intensiver in alle vorhandenen Unebenheiten eindringen.

FALCK (4) und SPANNER (21) sind ausserdem der Meinung, dass nicht die grössere Fläche, die durch das Anbringen von Unebenheiten an den in Kontakt tretenden Oberflächen geschaffen wird, die Haftfähigkeit steigert; vielmehr sei hierfür die grössere Verzahnung verantwortlich, die durch die Schaffung von Rauigkeiten an den betreffenden Flächen verursacht wird.

Von 2 Faktoren macht DRUM (3) die Haftintensität abhängig:

- 1) von der Fähigkeit des weichen Zementes in die feinsten Vertiefungen des Körpers einzudringen, an dem er haften soll (= mechanische Verankerung)
- 2) von oberflächenaktiven Kräften (= Adhasion) zwischen den Molekülen von zwei sich sehr naheliegenden verschiedenen Stoffen.

Und WEIKART (22) äussert sich zu diesen Ansichten, dass die Erfahrungen der Praxis für das Vorherrschen der mechanischen Verankerung sprächen.

Andere Autoren messen dagegen der Phosphorsäure grosse Bedeutung bei.

Nach BÖDECKER (2) bewirkt die Säure eine Anrauhung der beschickten Zahnoberfläche und ermöglicht dadurch dem Zement einen vermehrten mechanischen Halt.

Ebenfalls verantwortlich für das Zustandekommen der Haftintensität bezeichnen RUFF (20) und IDOLSKI (10) die freie, überschüssige Phosphorsäure.

Besondere Beachtung verdienen die Ausführungen von IDOLSKI (10). Sie führte ihre Untersuchungen über die Haftintensität zwischen Dentin - als einem der Phosphorsäure gegenüber nicht indifferenten Stoff - und dem Zement durch. Die Kalksalze, die den grossten Bestandteil des Zahnbeins ausmachen, stellen ein denkbar günstiges Angriffsfeld für die während des Abbindevorganges vorhandene und für die restierende ungebundene, freie Phosphorsäure dar. So konnte sie u. a. das Eindringen von Phosphorsäure in das Dentin chemisch nachweisen. Diese ungebundene Säure bewirke nun eine Umsetzung der schwerlöslichen, tertiären Calciumphosphate und Calciumkarbonate in primäre und sekundäre, die sich ihrerseits mit den vorhandenen Zinkverbindungen zu einer Kittsubstanz zwischen Zahnbein

und Zement vereinigen. IDOLSKI (10) spricht bei diesem Vorgang von der Bildung eines chemischen Zwischenkörpers und sieht in ihm die Ursache für einen innigeren Kontakt zwischen Zahnbein und Zement.

Ohne Zweifel stellt diese Theorie über die Bildung eines chemischen Zwischenkörpers einen Standpunkt dar, der Beachtung finden sollte. Es haben sich jedoch in der Literatur bisher weder Stimmen dafür noch dagegen erhoben. Fest steht, dass bis heute noch nicht der genaue Ablauf der chemischen Reaktion beim Abbindevorgang zwischen Pulver und Flüssigkeit des Phosphatzementes bekannt ist. Daher ist für eine vorsichtige Beurteilung dieser Theorie einzutreten. Und so bleibt immer noch die Frage offen, ob das Haftvermögen des Zinkoxydphosphatzementes durch die Bildung eines chemischen Zwischenkörpers, durch rein mechanische Verankerung oder durch Adhäsion in streng physikalischem Sinne zustande kommt.

Jedenfalls sollte man sich - nach SPANNER (21) - niemals dazu verleiten lassen, die Haftintensität eines Zementes nach seiner Klebrigkeit während des Anrührens zu beurteilen.

Das Bedürfnis, Aufklärung über die Haftintensität und andere Eigenschaften des Zinkoxydphosphatzementes zu bekommen, besteht seit langem.

So führte MORGENSTERN (15) die ersten Haftfestigkeitsprüfungen von Phosphatzement durch, indem er die Enden zweier Elfenbeinstäbchen miteinander verkittete.

Etwas später zog KULKA (13) den Kreis bei seinen Untersuchungen dahingehend etwas weiter, dass er Gold an Elfenbein zementierte.

HÖXBROE (9) berücksichtigte dann bei seinen Vergleichsversuchen von verschiedenen Zementen erstmals den Temperatur- und den Feuchtigkeitsfaktor. Auch hier war Elfenbein der Prüfkörper. Als Ergebnis stellte er heraus, dass die maximale Klebkraft bei den einzelnen Zementen bei unterschiedlichen Konsistenzen erreicht wird.

Aus jüngerer Zeit stammen Ergebnisse von BARTRAM (1) und FISCHER (1), deren Haftintensitätsprüfungen am Dentin in erster Linie den neu eingeführten Kunststoffen galten. Zu Vergleichszwecken führten sie jedoch auch Versuche mit Phosphatzementen am Dentin durch. Bemerkenswert erscheint hier, dass die als Prüfobjekt benutzten, frisch extrahierten Zähne planmässig unter Vermeidung von Hitze beschliffen und in feuchten Behältern bis zum Versuchsbeginn aufbewahrt wurden. Auf der Dentinfläche wurde dann das zu prüfende Material aufgebracht. Als Abreissvorrichtung diente eine stieleilklobenähnliche Anlage, mit deren Hilfe das Prüfmaterial vom Dentin abgerissen wurde. Die errechneten Resultate ergaben für das Haftvermögen am trockenen Dentin bei den Kunststoffen durchwegs die höchsten Werte. Jedoch erreichte Harvard-Zement immerhin den Haftintensitätswert von 15, 39 kg/qcm.

In seiner Stellungnahme zur Haftintensität möchte GRUMMT (6) das benutzte Material als "Bindemittel" benannt wissen. Seine ermittelten sehr unterschiedlichen Haftintensitätswerte erklärt er mit Schwankungen in der Verarbeitungsweise und mit unterschiedlichen Milieubedingungen.

In angerauten Karpuleroehrchen führten ROTTKE (19) und STROTHMANN (19) ihre Untersuchungen über die Wandständigkeit verschiedener Füllmaterialien durch. Da die Verhältnisse in den Glasrohrchen nicht den Bedingungen der Kavität entsprechen, können die ermittelten Ergebnisse keine vollgültige Aussage über die Wandständigkeit der benutzten Materialien sein.

Was das Mischungsverhältnis und die Verarbeitungsweise des zur Verwendung kommenden Materials anbelangt, so sind massgebende Richtlinien festgelegt. Nach der Spezifikation Nr. 8 des National Bureau of Standards treffen auf:

0,5 ccm Flüssigkeit 0,8 bis 1,7 g Pulver.

Die Anrührdauer soll 90 sec nicht überschreiten, und mit einer Auskristallisationszeit von 6 - 9 Minuten muss gerechnet werden. Darüber hinaus kann diese Erhärtungszeit noch beeinflusst werden durch:

verlängerte Anrührzeit

Erhöhung der Temperatur der Anrührplatte

grössere Pulvermenge bei gleichbleibender Flüssigkeitsmenge

grössere Feinheit des Pulvers

Art der Pulverbeimengung zur Flüssigkeit

Geschwindigkeit des Anrührens und

Grösse der Anreibefläche auf der Glasplatte.

Ausserordentlich wichtig ist, dass während der Anrührzeit und der Erhärtungszeit kein Wasser, Speichel oder eine andere Flüssigkeit mit dem Zement in Berührung kommt.

Zur Erzielung hochwertiger Resultate sprechen sich PAFFENBERGER (16) und CAUL (16) für eine möglichst gleichbleibende Relation zwischen Flüssigkeit und Pulver aus, so wie sie das National Bureau of Standards in ihren Verarbeitungsvorschriften herausgestellt hat.

REBEL (18) findet diese Angaben jedoch in manchen Punkten so anfechtbar, dass er sie praktisch als kaum verwendbar bezeichnet.

In Deutschland hat das Dental-Test-Institut Vorschriften ausgearbeitet, nach denen alle im Handel befindlichen Materialien der Zahnheilkunde laufend überprüft werden. Jedoch hat das Institut eine Herausgabe einer Prüfungsvorschrift über Haftvermögen der Phosphatzemente bisher abgelehnt.

JÄNICKE (11) untersuchte die Bedeutung der Verarbeitungsweise der Zemente auf die Haftintensität. In seinen Vergleichsversuchen bleibt das Phosphatzement mit seinem Haftvermögen unter den Zementen noch immer unerreicht. Seine angegebene Dosierung - einmal zur Erzielung einer Unterfüllung, zum anderen zum Fixieren von Metall-, Porzellan- oder Kunststoffarbeiten - sowie seine Anmischtechnik sind dazu angetan, in der Praxis Anklang zu finden.

## EIGENE VERSUCHSANORDNUNG

### A. Die Versuchskörper, Vorbereitung derselben und Schaffung der Haftfläche.

Als Versuchskörper dienten frisch extrahierte, möglichst kariesfreie Zähne. Waren geringfügige kariöse Defekte vorhanden, so wurden diese durch Beschleifen beseitigt, ohne dabei jedoch das Pulpenkavum zu eröffnen.

An jedem Zahn wurde mittels Schleifstein eine plane Fläche geschaffen, die später bei den Abreissversuchen als Haftfläche für den Zement zu dienen hatte. Diese Flächen wurden teils von okklusal, teils von approximal her geschaffen. Geschliffen wurde unter Wasserberieselung und unter Vermeidung von Wärmeentwicklung.

Alle Versuchsobjekte wurden vor und nach dieser Behandlung in Gefässen mit physiologischer Kochsalz-Lösung aufbewahrt. Die Lösung wurde täglich erneuert, um eine Säuerung derselben und eine eventuell davon entstehende entkalkende Wirkung auf das Dentin zu vermeiden.

Daraufhin wurde jeder mit dieser planen "Kavität" ausgestattete Zahn in eine eigene Messinghülse eingegipst und wiederum bis zu dem einzelnen Versuch in physiologischer Kochsalz-Lösung aufbewahrt. Die Messinghülsen hatten einen Durchmesser von 1,4 cm. Sie wurden später vor Beginn des Abreissversuches in den Halteblock der Abreissapparatur fest eingespannt.

### B. Die Rauhigkeit des Dentins.

Unmittelbar vor jedem Versuch wurde der betreffende Zahn mit seiner planen Fläche 10 mal unter möglichst gleichem Druck über einen gleich langen, neuen Streifen Sandpapier, und zwar die eine Hälfte aller Versuchsobjekte über Sandpapier mit der Standard-Körnung 100 = grob, die andere Hälfte über Sandpapier mit der Standard-Körnung 180 = fein gezogen. Auf diese Weise wurden feine und grobe "Kavitäten" geschaffen.

### C. Weitere besondere Vorbereitungsmaßnahmen.

Der vorhandene Schleifstaub an den "Kavitäten" wurde mit dem Luftbläser entfernt.

Vor jedem Versuch wurde die "Kavität" des betreffenden Zahnes mit dem entsprechenden Benetzungsmittel (siehe Absatz F; Behandlung der Dentinoberfläche) beschickt.

Nach einer Einwirkungsdauer von 1 Minute wurde die "Kavität" mit Wattebausch und Luftbläser getrocknet und das Objekt sofort in den Halteblock der Abreissmaschine zum nun beginnenden Abreissversuch eingespannt.

## D. Zement, Mischungsverhältnis und Anrührtechnik.

Als Arbeitsmaterial wurde durchwegs das an der Münchner Zahnklinik vorwiegend verwendete, normalhärtende Bayer-Phosphatzement benutzt.

Das Mischungsverhältnis und die Anrührtechnik wurden nach den von JÄNICKE (11) herausgestellten Angaben und Richtlinien gehandhabt. Demnach betrug die Pulver-Flüssigkeits-Relation : 0,5 g Pulver : 0,18 ccm Säure.

Angerührt wurde auf einer planen Glasplatte in Flaschenform. Ein in den Flaschenkörper ragendes Thermometer zeigte die Temperatur des sich in der Flasche befindlichen Wassers an. So wurde während der Anrührzeit die Glasplatte stets auf 18° C gehalten. Die Pulvermenge wurde in 4 gleiche Teile aufgeteilt und unter möglichst gleichem Druck ein Pulverteil nach dem anderen mit der Flüssigkeit verrieben (nach JÄNICKE (11), der mit dieser portionsweisen Anrührtechnik die günstigsten Resultate erzielte). Die Anrührzeit überschritt nicht die 90-Sekunden-Grenze.

## E. Der Prüfvorgang.

Der fertig angerührte Zement von sahniger Konsistenz wurde nun in einen Kupferring eingebracht, der seinerseits zu 1/3 seiner Länge auf der Abreisstange der Apparatur aufgeschoben war und dort von einer Manschette gehalten wurde. Es wurden jeweils neue Kupferringe mit einem Umfang von 17 mm verwendet, so dass sich bei allen Versuchen eine gleich grosse Prüffläche ergab. Eine in halber Höhe des Ringes angebrachte kleine Öffnung gab dem überschüssigen Zement die Möglichkeit auszuweichen.

Die Abreissmaschine war eigens für die Untersuchungen konstruiert worden mit dem Ziele, allgemeinen Forderungen an exakte physikalische Versuche Rechnung zu tragen. Da es sich hier um reine Abreissversuche handelt, wurde der grösste Wert auf die Erzielung reiner Zugkräfte gelegt. Andere Faktoren, wie Hebel- und Abscherkräfte, die die Messergebnisse ungenau werden lassen, konnten durch die Konstruktion der Maschine ausgeschaltet werden.

Im weiteren Verlauf der Versuchsanordnung wurde nun der mit Zement gefüllte Kupferring auf der Abreisstange an die im Halteblock fest verankerte Dentinfläche lotrecht herangeführt. Eine besondere Vorrichtung an der Apparatur gab die Gewähr dafür, dass bei jedem Versuch während der gesamten Erhärtungszeit der Zement mit einem stets gleich hohen Druck auf der Dentinfläche lastete.

Nach einer Wartezeit von 1 Stunde setzte der Abreissversuch ein.

Belastet wurde mit Wasser. Mit einem Gummischlauch wurde das Wasser in einen grossen Behälter geleitet, der seinerseits mit einer Schnur an dem anderen Ende der Abreisstange hing. Es konnte so eine kontinuierlich wachsende Belastung erzielt werden.

## F. Behandlung der Dentinoberfläche.

Entsprechend der gestellten Aufgabe kamen 3 verschiedene chemische Lösungen zur Anwendung:

- 1) 20 %ige Salzsäure
- 2) 20 %ige Natronlauge
- 3) 20 %ige Milchsäure.

Die Einwirkungsdauer des betreffenden Benetzungsmittels auf die "Kavität" betrug jeweils 1 Minute.

Ausserdem standen zu Vergleichsuntersuchungen einerseits die grob angeraute, zum anderen die relativ glatt gehaltene Dentinoberfläche zur Verfügung.

## G. Anzahl der Versuche.

Die Gesamtzahl der Versuche belief sich auf 120. Es wurden 6 verschiedene Versuchsreihen mit je 20 Einzelversuchen durchgeführt. Im einzelnen:

20 Versuche mit Salzsäure

20 Versuche mit Natronlauge und

20 Versuche mit Milchsäure als Benetzungsmittel.

Bei diesen 3 Versuchsreihen war die Dentinfläche mit dem feinkörnigen Sandpapier behandelt worden. Bei den restlichen 60 Versuchen trat nur insofern eine Änderung ein, als das grobkörnige Sandpapier zur Oberflächengestaltung zur Anwendung kam.

## H. Auswertung der Versuchsergebnisse.

Die ermittelten Haftwerte wurden für jede der 6 verschiedenen Versuchsreihen zur besseren Übersicht graphisch dargestellt.

Die Abzisse berücksichtigt die Anzahl der Versuche, während an der Ordinate die Grösse des Haftwertes jedes einzelnen Versuches in g abzulesen ist.

Schliesslich kam noch jede einzelne Versuchsreihe zur statistischen Auswertung.

Weiterhin ist noch die Abreissmaschine abgebildet.

Abb. 1 : Abreibapparat

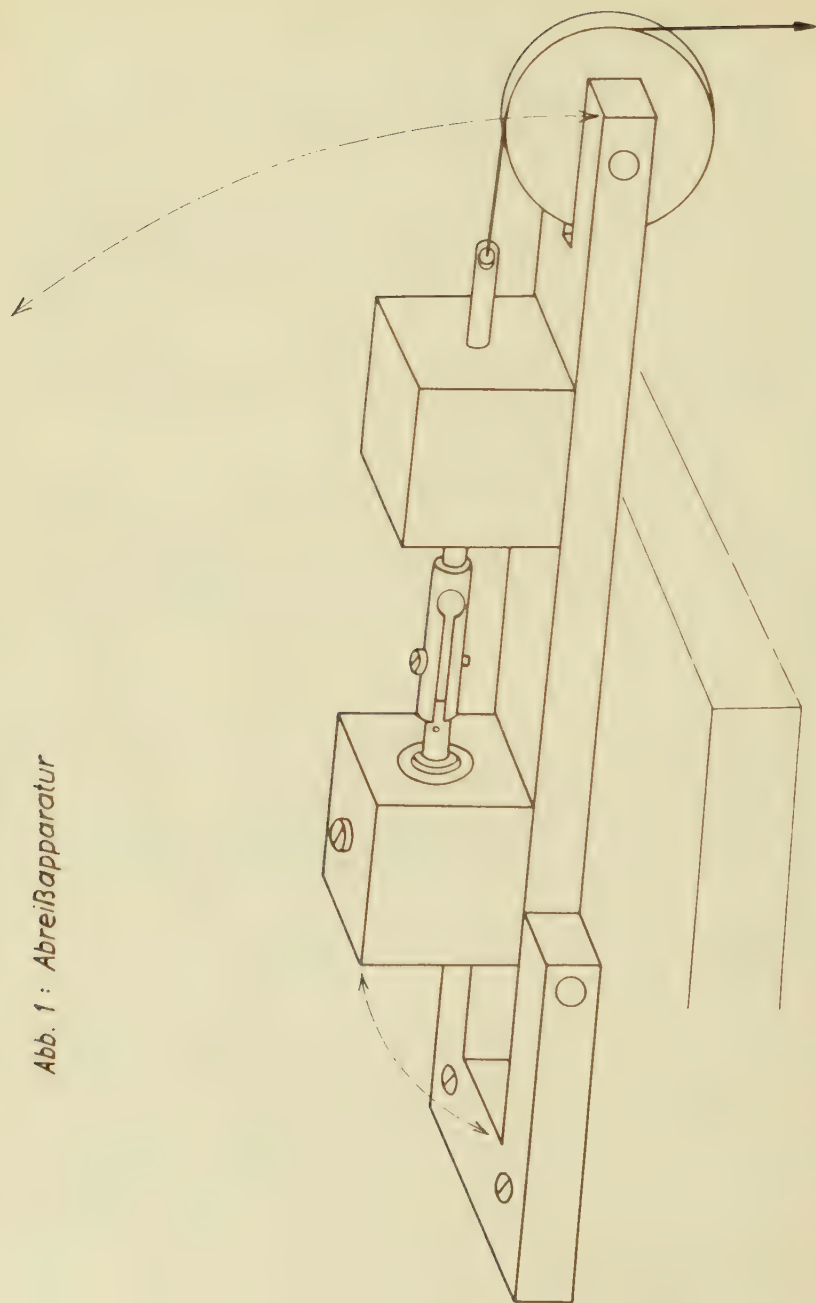


Abb. 2 : Graphische Darstellung der Ergebnisse von jeweils 20 Versuchen bei  
feiner bzw. grober Oberfläche unter Verwendung von Salzsäure  
als Benetzungsmittel.

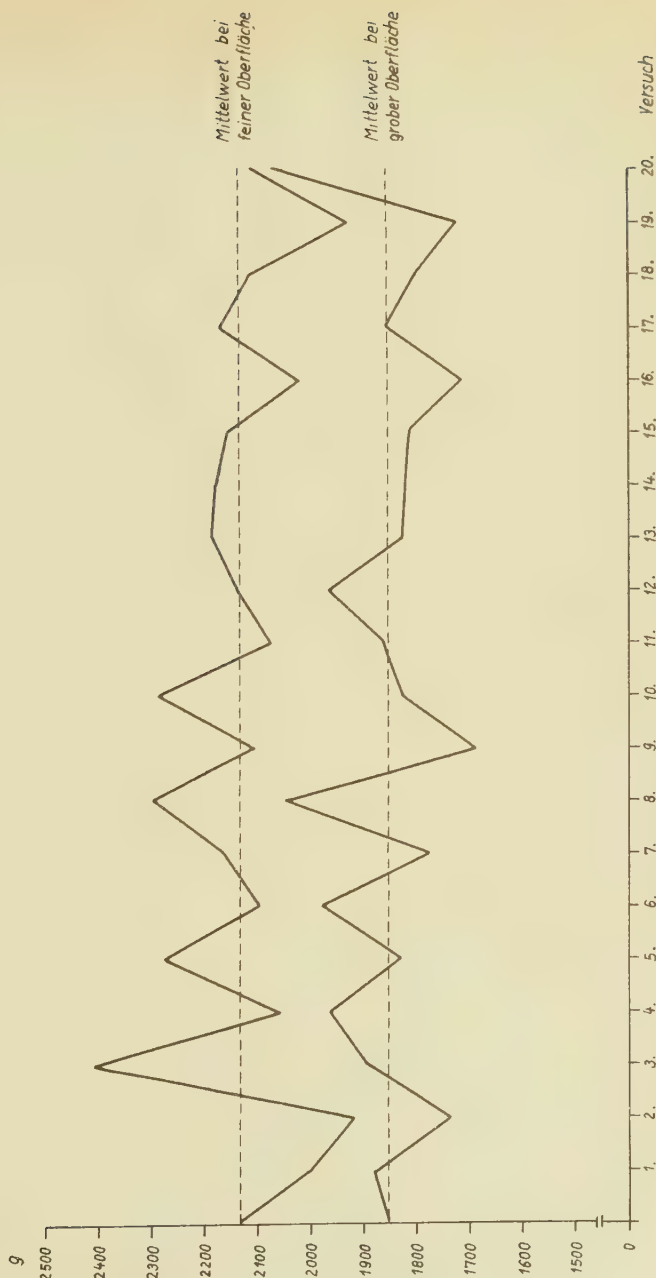
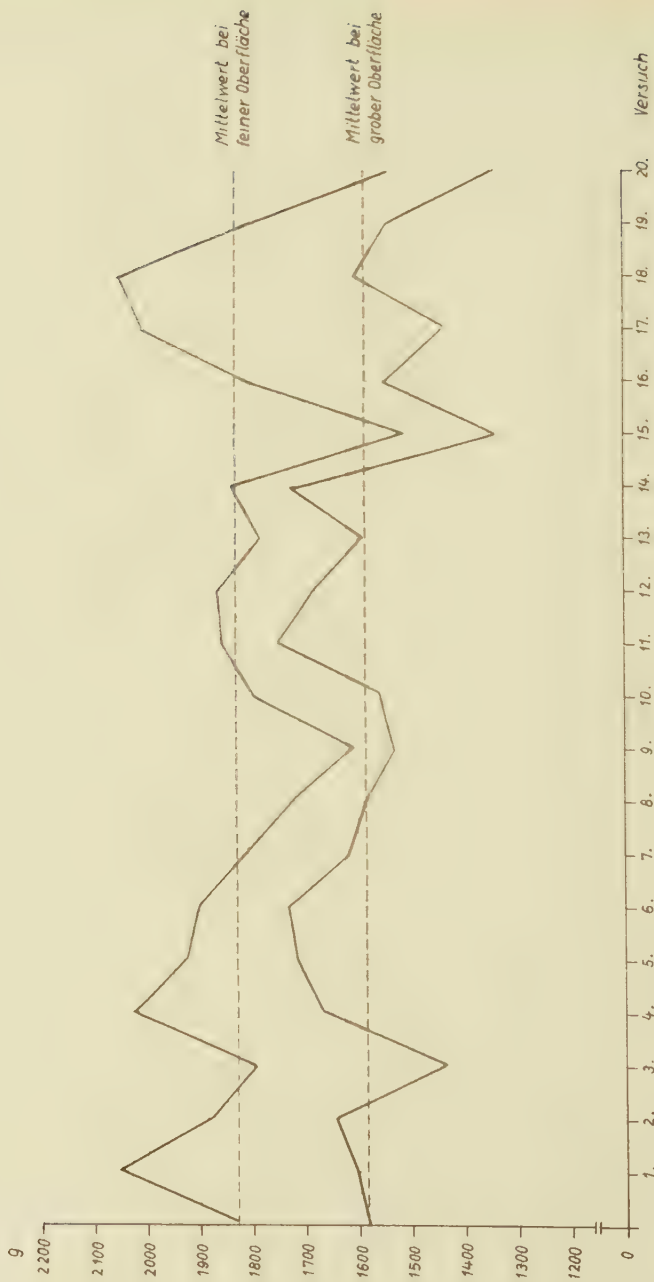


Abb. 3 : Graphische Darstellung der Ergebnisse von jeweils 20 Versuchen bei  
feiner bzw. grober Oberfläche unter Verwendung von Natronlauge  
als Benetzungsmittel.



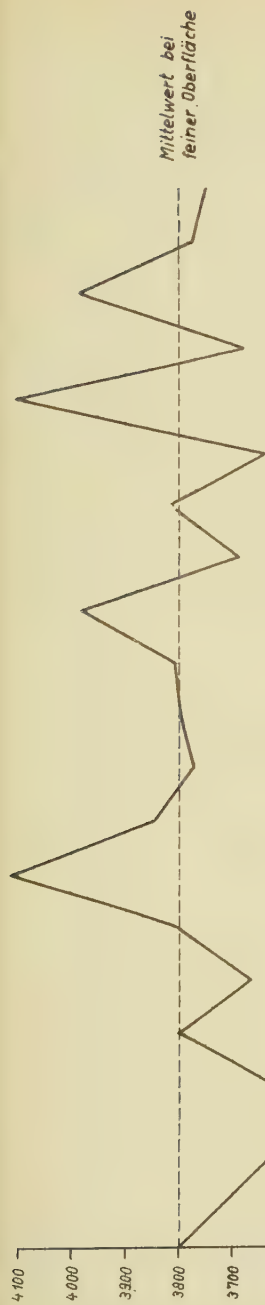
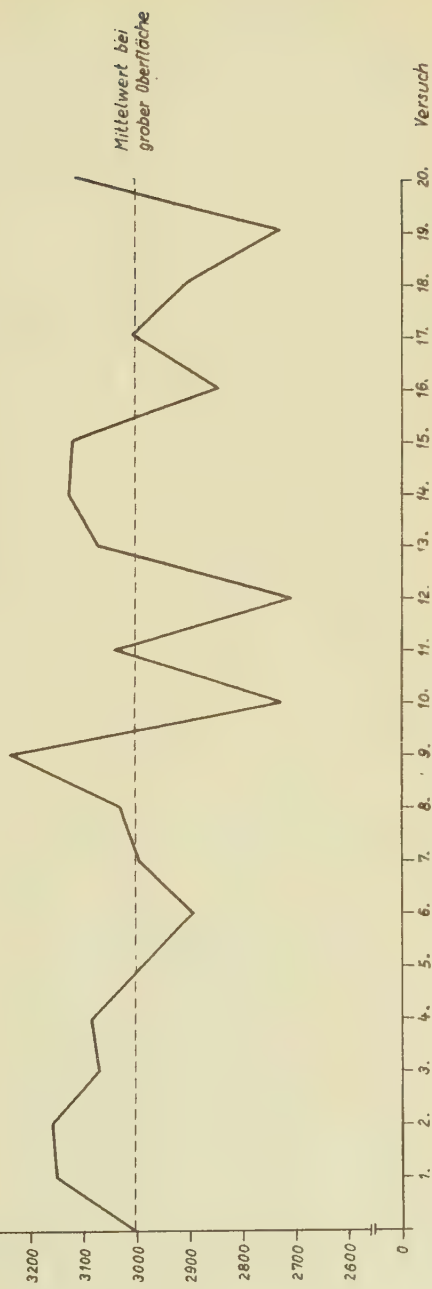


Abb. 4 : Graphische Darstellung der Ergebnisse von jeweils 20 Versuchen bei  
feiner bzw. grober Oberfläche unter Verwendung von Milchsäure  
als Benetzungsmittel.



## EIGENE ERGEBNISSE UND STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die höchsten Haftintensitätswerte wurden jedesmal nicht bei der grob ange-  
rauten, sondern bei der fein gehaltenen Dentinoberfläche erzielt.

Beim Vergleich der Versuchsreihen, bei denen die 3 verschiedenen chemi-  
schen Lösungen zur Anwendung kamen, zeigte die "Milchsäurereihe" die weitaus  
besten Ergebnisse.

Meine errechneten Mittelwerte für die Haftintensität ergaben im einzelnen  
folgende Resultate:

- 1) mit Milchsäure behandelte "feine" Dentinoberfläche = 3,797 kg / 23 mm<sup>2</sup>
- 2) mit Milchsäure behandelte "grobe" Dentinoberfläche = 3,004 kg / 23 mm<sup>2</sup>
- 3) mit Natronlauge behandelte "feine" Dentinoberfläche = 1,828 kg / 23 mm<sup>2</sup>
- 4) mit Natronlauge behandelte "grobe" Dentinoberfläche = 1,584 kg / 23 mm<sup>2</sup>
- 5) mit Salzsäure behandelte "feine" Dentinoberfläche = 2,136 kg / 23 mm<sup>2</sup>
- 6) mit Salzsäure behandelte "grobe" Dentinoberfläche = 1,856 kg / 23 mm<sup>2</sup>

Aus dem Umfang von 17 mm des beim Abreissversuch benutzten Kupferrin-  
ges ergibt sich eine Fläche von 23 mm<sup>2</sup>.

Eine Umrechnung auf 1 mm<sup>2</sup> sollte jedoch unterbleiben, weil sich die Haft-  
intensität nicht proportional zur Haftflächengrösse verhält (nach SPANNER (21)).

Die statistische Auswertung der je 20 Versuche umfassenden 6 Versuchsreihen  
stützt sich auf folgende Formeln:

a) Mittelwert :  $\bar{x} = \bar{x}' + \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x}')$

b) Streuung :  $s^2 = \frac{1}{N-1} \left[ \sum (x_i - \bar{x}')^2 - \frac{1}{N} \left( \sum (x_i - \bar{x}') \right)^2 \right]$

c) mittlere quadratische Abweichung :  $s = \sqrt{s^2}$

d) Variationskoeffizient :  $V = \left( \frac{s}{\bar{x}} \right) \cdot 100 \%$

zur Erläuterung: N = Anzahl der Versuche

i = Messnummer

$x_i$  = erhaltener Messwert

$\bar{x}'$  = willkürlicher Mittelwert

$\bar{x}$  = absoluter Mittelwert

$(x_i - \bar{x}')$  = Abweichung vom Mittelwert

$(x_i - \bar{x}')^2$  = Quadrat der Abweichung

s = mittlere quadratische Abweichung

s<sup>2</sup> = Streuung

V = Variationskoeffizient.

Die statistische Auswertung gibt Aufschluss über die Brauchbarkeit der Ergeb-  
nisse der jeweiligen Versuchsreihen.

Die bei den Prüfungen ermittelten Werte der einzelnen Versuchsreihen wei-

sen mitunter beträchtliche Schwankungen auf. Zu grosse Differenzen sind aber nicht tragbar für die Brauchbarkeit der Versuchsergebnisse. Der Variationskoeffizient gibt hierüber Auskunft. Beträgt er mehr als 25 - 30 %, so spricht dies für eine zu grosse Ungenauigkeit, und dem Gesamtergebnis kommt nur eine relative Bedeutung zu.

In den vorliegenden Versuchsreihen bewegt sich der Variationskoeffizient zwischen 3,9 und 8,3 %, also in durchaus annehmbaren Grössen.

Diese günstigen Ergebnisse sind einmal auf das präzise Arbeiten der Abreissapparatur, zum anderen auf die Exaktheit, mit der jeder einzelne Versuch durchgeführt wurde, zurückzuführen.

Die statistische Auswertung der ermittelten Werte der Versuchsreihe mit Salzsäure - grob angeraute Oberfläche:

| i  | $x_i$ |                                                      |
|----|-------|------------------------------------------------------|
| 1  | 1875  |                                                      |
| 2  | 1740  |                                                      |
| 3  | 1895  |                                                      |
| 4  | 1965  |                                                      |
| 5  | 1835  |                                                      |
| 6  | 1980  |                                                      |
| 7  | 1780  |                                                      |
| 8  | 2050  | absoluter Mittelwert : $\bar{x} = 1855,75 \text{ g}$ |
| 9  | 1695  |                                                      |
| 10 | 1830  | Streuung : $s^2 = 11322$                             |
| 11 | 1865  |                                                      |
| 12 | 1970  |                                                      |
| 13 | 1830  | mittl. quadratische Abweichung : $s = 106,4$         |
| 14 | 1825  |                                                      |
| 15 | 1815  | Variationskoeffizient : $V = 5,7 \%$                 |
| 16 | 1715  |                                                      |
| 17 | 1855  |                                                      |
| 18 | 1800  |                                                      |
| 19 | 1725  |                                                      |
| 20 | 2070  |                                                      |

Versuchsreihe mit Salzsäure - fein angeraute Oberfläche:

| i  | $x_i$ |
|----|-------|
| 1  | 2005  |
| 2  | 1925  |
| 3  | 2405  |
| 4  | 2060  |
| 5  | 2275  |
| 6  | 2100  |
| 7  | 2165  |
| 8  | 2295  |
| 9  | 2105  |
| 10 | 2285  |
| 11 | 2080  |
| 12 | 2140  |
| 13 | 2185  |
| 14 | 2180  |
| 15 | 2155  |
| 16 | 2025  |
| 17 | 2170  |
| 18 | 2115  |
| 19 | 1935  |
| 20 | 2105  |

absoluter Mittelwert :  $\bar{x} = 2135,55 \text{ g}$

Streuung :  $s^2 = 14150$

mittl. quadratische Abweichung :  $s = 119,8$

Variationskoeffizient :  $V = 5,6 \%$

Versuchsreihe mit Natronlauge - grob angeraute Oberfläche:

| i  | $x_i$ |
|----|-------|
| 1  | 1605  |
| 2  | 1645  |
| 3  | 1440  |
| 4  | 1670  |
| 5  | 1715  |
| 6  | 1735  |
| 7  | 1620  |
| 8  | 1590  |
| 9  | 1535  |
| 10 | 1555  |
| 11 | 1750  |
| 12 | 1685  |
| 13 | 1595  |
| 14 | 1725  |
| 15 | 1340  |
| 16 | 1550  |
| 17 | 1435  |
| 18 | 1600  |
| 19 | 1545  |
| 20 | 1340  |

absoluter Mittelwert :  $\bar{x} = 1583,75 \text{ g}$

Streuung :  $s^2 = 14673$

mittl. quadratische Abweichung :  $s = 121,1$

Variationskoeffizient :  $V = 7,65 \%$

Versuchsreihe mit Natronlauge - fein angeraute Oberfläche:

| i  | $x_i$ |
|----|-------|
| 1  | 2050  |
| 2  | 1880  |
| 3  | 1795  |
| 4  | 2025  |
| 5  | 1925  |
| 6  | 1900  |
| 7  | 1810  |
| 8  | 1725  |
| 9  | 1610  |
| 10 | 1795  |
| 11 | 1855  |
| 12 | 1860  |
| 13 | 1785  |
| 14 | 1835  |
| 15 | 1510  |
| 16 | 1805  |
| 17 | 2005  |
| 18 | 1800  |
| 19 | 2050  |
| 20 | 1540  |

absoluter Mittelwert :  $\bar{x} = 1828,00 \text{ g}$

Streuung :  $s^2 = 22930$

mittl. quadratische Abweichung :  $s = 151,4$

Variationskoeffizient :  $V = 8,3 \%$

Versuchsreihe mit Milchsäure - grob angeraute Oberfläche:

| i  | $x_i$ |
|----|-------|
| 1  | 3155  |
| 2  | 3160  |
| 3  | 3075  |
| 4  | 3085  |
| 5  | 2990  |
| 6  | 2895  |
| 7  | 3000  |
| 8  | 3035  |
| 9  | 3245  |
| 10 | 2735  |
| 11 | 3045  |
| 12 | 2715  |
| 13 | 3075  |
| 14 | 3130  |
| 15 | 3125  |
| 16 | 2850  |
| 17 | 3005  |
| 18 | 2905  |
| 19 | 2730  |
| 20 | 3115  |

absoluter Mittelwert :  $\bar{x} = 3003,5 \text{ g}$

Streuung :  $s^2 = 23363$

mittl. quadratische Abweichung :  $s = 152,7$

Variationskoeffizient:  $V = 5,1 \%$

Versuchsreihe mit Milchsäure - fein angeraute Oberfläche:

| i  | $x_i$ |
|----|-------|
| 1  | 3700  |
| 2  | 3595  |
| 3  | 3620  |
| 4  | 3800  |
| 5  | 3665  |
| 6  | 3805  |
| 7  | 4110  |
| 8  | 3845  |
| 9  | 3775  |
| 10 | 3795  |
| 11 | 3805  |
| 12 | 3980  |
| 13 | 3690  |
| 14 | 3815  |
| 15 | 3640  |
| 16 | 4105  |
| 17 | 3685  |
| 18 | 3985  |
| 19 | 3775  |
| 20 | 3750  |

absoluter Mittelwert :  $\bar{x} = 3797,00 \text{ g}$

Streuung :  $s^2 = 21854$

mittl. quadratische Abweichung :  $s = 147,8$

Variationskoeffizient :  $V = 3,9 \%$

Die Berechnungen, die zu diesen Werten in den einzelnen Versuchsreihen geführt haben, sind im Anhang aufgezeichnet.

## KRITISCHE BETRACHTUNGEN

Der Versuch, bei der Untersuchung eines Zahnzementes, die Verhältnisse im Munde auch nur annähernd zu rekonstruieren, ist bisher immer nur Versuch geblieben.

Der aus dem biologischen Geschehen herausgeloste, zu Versuchszwecken benutzte, extrahierte Zahn und die Tatsache, dass während des Ablaufs der Versuchsanordnung die Wiedergabe der tatsächlichen Mundhohlenverhältnisse auch nicht annähernd erreicht werden kann, lassen für die Versuchsergebnisse eine nur relative Beurteilung zu.

Hinzu kommen die gewiss nicht immer in gleichen Bahnen zu haltenden manuellen Verrichtungen in Bezug auf Anrührtechnik und Verarbeitungsweise des betreffenden Materials.

Schliesslich stellt die als Prüfkörper dienende Dentinoberfläche mit der ihr eigenen Struktur einen nicht zu übersehenden Unsicherheitsfaktor bezüglich der

Konstanthaltung der am gesamten Versuchsablauf massgeblich beteiligten Faktoren dar.

Bei der Gestaltung einer Kavität kommt es infolge des unregelmässigen Verlaufs der Dentinkanälchen zu einem schrägen, queren und länglichen Anschneiden derselben. In vivo sind die Dentinkanälchen ausgefüllt mit den Odontoblastenfortsätzen, feinsten, freien Nervenendigungen und dem Dentinliquor. In vitro erscheint uns ein leerer Raum zwischen den Tomes'schen Fasern und den Wänden der Dentinkanälchen. Hinzu kämen ausserdem noch die Unregelmässigkeiten in der Dentinstruktur, die durch das Interglobulardentin, die Tomes'sche Körnerschicht und die Owen'schen Linien verursacht werden.

Alles in allem ergibt dies schon einen Hohlraum, der nicht beim Beschleifen künstlich erzeugt wurde. Ich möchte ihn aber berücksichtigt wissen, weil er eine natürliche Retention im Dentin darstellt. Wie weit der plastische Zement in diese natürlichen Unebenheiten des Zahnbeins einzudringen vermag, lässt sich nicht genau beurteilen.

Die Frage der Haftintensität des Phosphatzementes am Dentin könnte somit schon eine Erklärung gefunden haben.

Bei meinen Versuchsergebnissen hat nun jedoch die Tatsache überrascht, dass die höheren Haftintensitätswerte nicht, wie man zunächst meinen sollte, bei grob gestalteter Dentinoberfläche erzielt wurden, sondern bei der Bearbeitung mit feinkörnigen Schleifmitteln.

Zu den gleichen Resultaten konnte HOPPE kommen. Er bediente sich der gleichen Abreissmaschine bei seinen Untersuchungen über die Haftintensität des Phosphatzementes an Gold. Die als Prüfkörper dienende Goldfläche versah er mittels Softstein mit einer Feinanrauhung. Eine grobe Oberflächengestaltung erreichte er für die nächste Versuchsreihe durch Bearbeitung mit einem Heatless-Stein und für eine weitere Reihe durch Anätzen mit konzentriertem Königswasser. Zu Vergleichszwecken führte er schliesslich noch Versuche an einer Goldfläche durch, die auf Hochglanz poliert war. Bei dieser letzten Versuchsreihe konnte er nur ganz geringe Haftintensitätswerte ermitteln. Die erzielten Resultate der Versuchsreihen, in denen er eine fein angeraute Oberfläche als Ausgangspunkt seiner Untersuchungen wählte, stehen durchaus in Einklang mit meinen Ergebnissen.

Diese Tatsache möchte ich folgendermassen erklären:

Bei der Bearbeitung einer Fläche mit feinkörnigen Schleifmitteln erzeugt man auf derselben eine Unzahl feiner und feinsten Unebenheiten. Es kommt so zu einer relativen Vergrösserung der behandelten Oberfläche. Der vorschriftsmässig zubereitete Zement hat nun infolge seiner plastischen Eigenschaften die Möglichkeit, in diese künstlich erzeugten, kleinen Vertiefungen einzudringen und sich dort beim Auskristallisieren zu verankern.

Wird eine Oberfläche dagegen mit groben Schleifmitteln behandelt, so kommt es hier zwar auch zu einer Vergrösserung der Oberfläche, jedoch niemals in dem Ausmasse, wie bei der "Feinbehandlung". Hier überwiegen vielmehr die groben Rillen und Furchen. Sind diese dazu noch zu tief ausgeprägt und weisen

u. U. vielleicht noch unter-sich-gehende Stellen auf, so liegt die Möglichkeit nahe, dass es bei hier durchgeführten Abreissversuchen nicht zu einem Ablösen des Zementes von der betreffenden Fläche kommt, sondern zu einem Abreissen im Zement selbst.

HATTEMER (7) und KÜBEL (7) äussern sich in diesem Sinne zu der Schmirgelleinen-Abriss-Methode WEIKARTS (22).

WEIKART (22) prüfte die Haftintensität des Zinkoxydphosphatzementes an Schmirgelleinen, welches in Streifen zugeschnitten und auf eine plane Unterlage gelegt wurde. Auf die Schmirgelleinewand setzte er eine zweiteilige Form aus rostfreiem Stahl, in die der Zement gefüllt wurde. Nach einer Erhärtungszeit von 30 Minuten wurde die Form entfernt, und der geformte Zementwürfel sass nun frei auf dem Schmirgelleinen auf. An die Unterseite der Schmirgelleinewand legte er ein 5 mm<sup>2</sup> grosses Eisenstück genau unterhalb des Zementwürfels, bog die Schmirgelleinewand um die Kanten des Eisenstückes herum und spannte dann das Ganze in eine Haltevorrichtung ein. HATTEMER (7) und KÜBEL (7) behaupten nun, dass hierbei der Abriss grösstenteils im Zement erfolge. Die Methode könne also nur Aufschluss über die Eigenfestigkeit des benutzten Zementes geben.

Zu dieser Frage, ob die Abrissebenen immer nur in einem Stoff liegen, nimmt HOPPE Stellung. Er verneint es und erklärt diese Behauptung, indem er von zwei Voraussetzungen ausgeht: 1) Bei jedem Versuch wird der gleiche Zement immer unter denselben Bedingungen verwendet. Er ist also strukturell und stofflich gleich. 2) Der zu prüfende Körper besteht bei jedem Versuch aus derselben Materie.

Würde also der Abriss nur immer in einem Stoff erfolgen, so müssten immer die gleichen Ergebnisse erzielt worden sein. Der Beweis dagegen sind aber die durchwegs verschiedenen Haftwerte bei den einzelnen Versuchsreihen.

Diese Argumentation möchte ich aber im Hinblick auf die Unsicherheit in der Anrührtechnik, als einem Bestandteil der Voraussetzung, einschränken.

Zur Frage der Ursache der Haftintensität möchte ich mich dahingehend aussprechen, dass sie weitgehendst auf mechanischer Verankerung beruht. Inwieweit chemische und physikalische Faktoren (IDOLSKI (10) - chemische Kittsubstanz; HATTEMER (7) und KÜBEL (7) - Adhasion) Einfluss auf das Haftvermögen haben, ist schwierig zu beurteilen. Gänzlich abzuleugnen sind sie jedenfalls nicht.

Die Versuchsreihen, in denen ich die Dentinoberfläche mit Milchsäure imprägnierte, erbrachten durchwegs die höchsten Haftintensitätswerte.

Bei der Milchsäure handelt es sich um einen uns wohl bekannten Stoff, der bei der Karies eine wichtige Rolle spielt. Unter Einwirkung verschiedenster Kohlehydrate fermentierender Bakterien kommt es bei der Karies zur Kohlehydratgärung. Hierbei entstehen Säuren. Eine der wichtigsten ist die Milchsäure. Sie übt eine entkalkende Wirkung auf die Zahnhartsubstanzen aus. Bei der Befeuchtung der Dentinoberfläche mit Milchsäure im Zuge meines Versuchsvorganges kam es also auch zu einem oberflächlichen Entkalkungsprozess. Die natürlichen und die von

mir künstlich geschaffenen Retentionen erfuhren somit eine noch intensivere Ausprägung. Das Resultat waren die erstaunlich hohen Haftintensitätswerte.

Die oft recht unterschiedlichen Ergebnisse innerhalb der einzelnen Versuchsreihen führe ich auf verschiedene Ursachen zurück. In erster Linie einmal auf die stets anders geartete Beschaffenheit der Dentinoberfläche.

Weiterhin möchte ich erwähnen, dass gewisse Unregelmässigkeiten in der gesamten Versuchsabwicklung unvermeidbar sein dürften, obwohl ich bemüht war, alle Forderungen der Versuchsanordnung peinlichst genau zu erfüllen.

Schon allein die manuelle Verarbeitung des Phosphatzementes dürfte kaum in all ihren Phasen bei allen Versuchen bis zur letzten Konsequenz konstant zu halten sein.

Schliesslich dürften die allgemeinen Milieubedingungen auch gewissen Schwankungen unterworfen sein.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die durchgeführten Versuche hatten die Prüfung der Haftintensität zwischen Zinkoxydphosphatzement und Dentin in Beziehung zu dessen Oberflächengestaltung zum Gegenstand, wobei die Oberfläche teils mechanisch, teils chemisch bearbeitet wurde.

Frisch extrahierte Zähne dienten als Versuchskörper. Die Dentinoberfläche wurde chemisch behandelt mit:



Weiterhin war die Prüffläche am Dentin einmal rau und zum anderen Male relativ glatt gehalten. Als Prüfmaterial wurde normalhartender Zinkoxydphosphatzement verwendet. Für die Abreissversuche stand eine eigens dazu konstruierte Apparatur zur Verfügung.

Die mechanische Verankerung muss als Hauptursache für das Zustandekommen der Haftintensität des Phosphatzementes angesehen werden. Daneben spielen auch noch gewisse andere Faktoren eine Rolle.

Die Versuchsreihe, in der die Milchsäure als Benetzungsmittel der Kavität angewendet wurde, erbrachte die höchsten Haftwerte.

Beim Vergleich der Ergebnisse der rauhen Oberflächenbeschaffenheit zur feinen Oberflächengestaltung wurden bei letzterer durchwegs die höheren Werte ermittelt.

Für die Praxis ergibt sich daraus die Forderung, bei der Kavitätenpräparation mit feinen Schleifkörpern zu Werke zu gehen.

Ob die Versorgung einer Kavität in vivo mit Milchsäure - mit dem Ziel der Erholung des Haftvermögens des Zinkoxydphosphatzementes am Dentin - eine positive oder negative Wirkung nach sich zieht, bedarf noch der Klärung.

## LITERATURVERZEICHNIS

1. BARTRAM, H. und FISCHER, C.-H. :  
Haftvermögen der schnellhärtenden Kunststoffe.  
Deutsche Zeitschrift für Mund- und Kieferheilkunde  
1952 Heft 5 und 6.
2. BÖDECKER, H. :  
Das Metalleinlageverfahren.  
Verlag Meurer Berlin 1911.
3. DRUM, W. :  
Prüfungsvorschriften für Phosphatzement.  
DZZ 1949 Heft 24.
4. FALCK, K. :  
Werkstoffkunde für Zahnärzte.  
Karl Hanser Verlag München 1948.
5. GRAF/HENNING:  
Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik.  
Verlag Springer Berlin, Göttingen 1958.
6. GRUMMT, W. jun. :  
Zur Frage der Haftintensität von Befestigungsmitteln  
für zahnärztliche Gussarbeiten.  
Med. Diss. 1958.
7. HATTEMER, A. und KÜBEL, K. :  
Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche  
Werkstoffe.  
DZZ 1950 Heft 18.
8. HESS, W. :  
Über den Randschluss und die Wanddicke der richtig  
hergestellten und verarbeiteten Füllungsmaterialien  
und den Einfluss auf die Pulpa und die paradentalen  
Erkrankungen.  
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Vorträgen  
Heft 13, Zürich 1933.
9. HÖXBROE, A. :  
Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur und  
Feuchtigkeit auf Erhärtungsdauer, Klebekraft und  
Kohäsion der Phosphatzemente.  
Med. Diss. Berlin 1920.
10. IDOLSKI, M. :  
Ist die Haftintensität des Zinkoxydphosphatzementes  
auf die Bildung eines chemischen Zwischenkörpers  
zurückzuführen?  
Med. Diss. Greifswald 1921.
11. JÄNICKE, K. :  
Die Bedeutung der Verarbeitungsweise für die Haftintensität  
des Phosphatzementes.  
Med. Diss. München 1955.

12. KNAPPWOST, A.: Über die Zersetzung und Zersetzungshemmung der Phosphatzemente im Bereich der Mundhöhle.  
DZZ 1950 Heft 18.
13. KULKA, M.: Über die wichtigsten mechanischen und einige chemische Eigenschaften der Silikat- und Phosphatzemente.  
Österr. Ung. VjFZ 1907.
14. KUNERT, W.: Neuere Untersuchungen über Phosphatzemente unter besonderer Berücksichtigung der Volumenbeständigkeit und Klebekraft.  
Med. Diss. Köln 1939.
15. MORGENSTERN, M.: Untersuchungen der Silikat- und Zinkphosphatzemente unter besonderer Berücksichtigung ihrer physikalischen Eigenschaften.  
Österr. Ung. VjSZ 1905.
16. PAFFENBERGER, C. und CAUL, H. J.: Dental-Zemente.  
Photokopie einer Übersetzung vom Jahre 1948, zur Verfügung gestellt von der Firma Bayer-Leverkusen.
17. RAWITZER, W.: Allgemeine Methode zur Materialprüfung bei der Untersuchung von Zahnzementen.  
DZW 1932 Heft 21.
18. REBEL, H. H.: Konservierende Zahnheilkunde.  
Karl Hanser Verlag München 1947.
19. ROTTKE, R. und STROTHMANN, W.: Untersuchungen über die Wandständigkeit von erhärteten Füllmaterialien mit einer modifizierten Durchströmungsmethode.  
DZZ 1955 Jhrg. 9.
20. RUFF, H.: Beitrag zur experimentellen Bestimmung der Haftintensität der Zinkoxydphosphatzemente.  
Med. Diss. Berlin 1937.
21. SPANNER, J.: Klebrigkeit und Haftfestigkeit von Zinkphosphatzementen.  
DZW 1930 Heft 23.
22. WEIKART, P.: Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe.  
DZZ 1949 Heft 24.

WEIKART, P. :

Adhäsion oder Haftintensität von Zahnzementen.  
DZZ 1950 Heft 18.

Zur Prüfung von Zahnzementen auf ihre Festigkeit.  
DZZ 1951 Heft 1.

Die statistische Auswertung der je 20 Versuche umfassenden 6 Versuchsreihen erfolgte nach den "Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik" (5).

Die Berechnungen stützen sich hierbei auf folgende Formeln:

a) Mittelwert :  $\bar{x} = \bar{x}' + \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x}')$

b) Streuung :  $s^2 = \frac{1}{N-1} \left[ \sum (x_i - \bar{x}')^2 - \frac{1}{N} \left( \sum (x_i - \bar{x}') \right)^2 \right]$

c) mittlere quadratische Abweichung :  $s = \sqrt{s^2}$

d) Variationskoeffizient :  $V = \left( \frac{s}{\bar{x}} \right) \cdot 100 \%$

zur Erläuterung: N = Anzahl der Versuche

i = Messnummer

$x_i$  = erhaltener Messwert

$\bar{x}'$  = willkürlicher Messwert

$\bar{x}$  = absoluter Mittelwert

$(x_i - \bar{x}')$  = Abweichung vom Mittelwert

$(x_i - \bar{x}')^2$  = Quadrat der Abweichung

s = mittlere quadratische Abweichung

$s^2$  = Streuung

V = Variationskoeffizient.

Es folgen die statistischen Berechnungen für die einzelnen Versuchsreihen:

1. VERSUCHSREIHE: (Salzsäure - grob angeraute Oberfläche)

| i   | $x_i$        | $x_i - \bar{x}'$ | $(x_i - \bar{x}')^2$ |                   |
|-----|--------------|------------------|----------------------|-------------------|
| 1.  | 1875         | + 25             | 625                  |                   |
| 2.  | 1740         | - 110            | 12100                |                   |
| 3.  | 1895         | + 45             | 2025                 |                   |
| 4.  | 1965         | + 115            | 13225                |                   |
| 5.  | 1835         | - 15             | 225                  |                   |
| 6.  | 1980         | + 130            | 16900                |                   |
| 7.  | 1780         | - 70             | 4900                 |                   |
| 8.  | 2050         | + 200            | 40000                |                   |
| 9.  | 1695         | - 155            | 24025                |                   |
| 10. | 1830         | - 20             | 400                  | $\bar{x}' = 1850$ |
| 11. | 1865         | + 15             | 225                  |                   |
| 12. | 1970         | + 120            | 14400                |                   |
| 13. | 1830         | - 20             | 400                  |                   |
| 14. | 1825         | - 25             | 625                  |                   |
| 15. | 1815         | - 35             | 1225                 |                   |
| 16. | 1715         | - 135            | 18225                |                   |
| 17. | 1855         | + 5              | 25                   |                   |
| 18. | 1800         | - 50             | 2500                 |                   |
| 19. | 1725         | - 125            | 15625                |                   |
| 20. | 2070         | + 220            | 48400                |                   |
|     | <u>37115</u> | <u>+ 115</u>     | <u>216075</u>        |                   |

$$\sum x_i = 37115$$

$$\sum (x_i - \bar{x}') = + 115$$

$$\sum (x_i - \bar{x}')^2 = 216075$$

Einsetzen der errechneten Werte in die betreffenden Formeln:

$$a) \bar{x} = 1850 + \left(\frac{1}{20} \cdot 115\right) = 1855,75$$

$$b) s^2 = \frac{1}{20-1} \left[ 216075 - \frac{1}{20} \cdot (115^2) \right] = 11322$$

$$c) s = \sqrt{11322} = 106,4$$

$$d) V = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \% = \frac{106,4}{1856} \cdot 100 \% = 5,7 \%$$

## 2. VERSUCHSREIHE: (Salzsäure - fein angeraute Oberfläche)

| i   | $x_i$        | $x_i - \bar{x}'$ | $(x_i - \bar{x}')^2$ |                   |
|-----|--------------|------------------|----------------------|-------------------|
| 1.  | 2005         | - 95             | 9025                 |                   |
| 2.  | 1925         | - 175            | 28625                |                   |
| 3.  | 2405         | + 305            | 93025                |                   |
| 4.  | 2060         | - 40             | 1600                 |                   |
| 5.  | 2275         | + 175            | 28625                |                   |
| 6.  | 2100         | 0                | 0                    |                   |
| 7.  | 2165         | + 65             | 4225                 |                   |
| 8.  | 2295         | + 195            | 38025                |                   |
| 9.  | 2105         | + 5              | 25                   |                   |
| 10. | 2285         | + 185            | 34225                | $\bar{x}' = 2100$ |
| 11. | 2080         | - 20             | 400                  |                   |
| 12. | 2140         | + 40             | 1600                 |                   |
| 13. | 2185         | + 85             | 7225                 |                   |
| 14. | 2180         | + 80             | 6400                 |                   |
| 15. | 2155         | + 55             | 3025                 |                   |
| 16. | 2025         | - 75             | 5625                 |                   |
| 17. | 2170         | + 70             | 4900                 |                   |
| 18. | 2115         | + 15             | 225                  |                   |
| 19. | 1935         | - 165            | 27225                |                   |
| 20. | 2105         | + 5              | 25                   |                   |
|     | <u>42710</u> | <u>+ 710</u>     | <u>294050</u>        |                   |

$$\sum x_i = 42710$$

$$\sum (x_i - \bar{x}') = + 710$$

$$\sum (x_i - \bar{x}')^2 = 294050$$

Einsetzen der errechneten Werte in die betreffenden Formeln:

$$a) \bar{x} = 2100 + \left(\frac{1}{20} \cdot 710\right) = 2135,55$$

$$b) s^2 = \frac{1}{20-1} \left[ 294050 - \frac{1}{20} \cdot (710^2) \right] = 14150$$

$$c) s = \sqrt{14150} = 119,8$$

$$d) V = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \% = \frac{119,8}{2135,5} \cdot 100 \% = 5,6 \%$$

### 3. VERSUCHSREIHE: (Natronlauge - grob angeraute Oberfläche)

| i   | $x_i$        | $x_i - \bar{x}'$ | $(x_i - \bar{x}')^2$ |
|-----|--------------|------------------|----------------------|
| 1.  | 1605         | + 105            | 11025                |
| 2.  | 1645         | + 145            | 21025                |
| 3.  | 1440         | - 60             | 3600                 |
| 4.  | 1670         | + 170            | 28900                |
| 5.  | 1715         | + 215            | 46225                |
| 6.  | 1735         | + 235            | 55225                |
| 7.  | 1620         | + 120            | 14400                |
| 8.  | 1590         | + 90             | 8100                 |
| 9.  | 1535         | + 35             | 1225                 |
| 10. | 1555         | + 55             | 3025                 |
| 11. | 1750         | + 250            | 62500                |
| 12. | 1685         | + 185            | 34225                |
| 13. | 1595         | + 95             | 9025                 |
| 14. | 1725         | + 225            | 50625                |
| 15. | 1340         | - 160            | 25600                |
| 16. | 1550         | + 50             | 2500                 |
| 17. | 1435         | - 65             | 4225                 |
| 18. | 1600         | + 100            | 10000                |
| 19. | 1545         | + 45             | 2025                 |
| 20. | 1340         | - 160            | 25600                |
|     | <u>31675</u> | <u>+1675</u>     | <u>419075</u>        |

$$\bar{x}' = 1500$$

$$\sum x_i = 31675$$

$$\sum (x_i - \bar{x}') = + 1675$$

$$\sum (x_i - \bar{x}')^2 = 419075$$

Einsetzen der errechneten Werte in die betreffenden Formeln:

$$a) \bar{x} = 1500 + \left(\frac{1}{20} \cdot 1675\right) = 1583,75$$

$$b) s^2 = \frac{1}{20-1} \left[ 419075 - \frac{1}{20} \cdot (1675^2) \right] = 14673$$

$$c) s = \sqrt{14673} = 121,1$$

$$d) V = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \% = \frac{121,1}{1583,75} \cdot 100 \% = 7,65 \%$$

4. VERSUCHSREIHE: (Natronlauge - fein angeraute Oberfläche)

| i   | $x_i$        | $x_i - \bar{x}'$ | $(x_i - \bar{x}')^2$ |
|-----|--------------|------------------|----------------------|
| 1.  | 2050         | + 250            | 62500                |
| 2.  | 1880         | + 80             | 6400                 |
| 3.  | 1795         | - 5              | 25                   |
| 4.  | 2025         | + 225            | 50625                |
| 5.  | 1925         | + 125            | 15625                |
| 6.  | 1900         | + 100            | 10000                |
| 7.  | 1810         | + 10             | 100                  |
| 8.  | 1725         | - 75             | 5625                 |
| 9.  | 1610         | - 190            | 36100                |
| 10. | 1795         | - 5              | 25                   |
| 11. | 1855         | + 55             | 3025                 |
| 12. | 1860         | + 60             | 3600                 |
| 13. | 1785         | - 15             | 225                  |
| 14. | 1835         | + 35             | 1225                 |
| 15. | 1510         | - 290            | 84100                |
| 16. | 1805         | + 5              | 25                   |
| 17. | 2005         | + 205            | 42025                |
| 18. | 1800         | 0                | 0                    |
| 19. | 2050         | + 250            | 62500                |
| 20. | 1540         | - 260            | 67600                |
|     | <u>36560</u> | <u>+ 560</u>     | <u>451350</u>        |

$$\bar{x}' = 1800$$

$$\sum x_i = 36560$$

$$\sum (x_i - \bar{x}') = + 560$$

$$\sum (x_i - \bar{x}')^2 = 451350$$

Einsetzen der errechneten Werte in die betreffenden Formeln:

$$a) \bar{x} = 1800 + \left(\frac{1}{20} \cdot 560\right) = 1828$$

$$b) s^2 = \frac{1}{20-1} \left[ 451350 - \frac{1}{20} \cdot (560^2) \right] = 22930$$

$$c) s = \sqrt{22930} = 151,4$$

$$d) V = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \% = \frac{151,4}{1828} \cdot 100 \% = 8,3 \%$$

5. VERSUCHSREIHE: (Milchsäure - grob angeraute Oberfläche)

| i   | $x_i$        | $x_i - \bar{x}'$ | $(x_i - \bar{x}')^2$ |                   |
|-----|--------------|------------------|----------------------|-------------------|
| 1.  | 3155         | + 155            | 24025                |                   |
| 2.  | 3160         | + 160            | 25600                |                   |
| 3.  | 3075         | + 75             | 5625                 |                   |
| 4.  | 3085         | + 85             | 7225                 |                   |
| 5.  | 2990         | - 10             | 100                  |                   |
| 6.  | 2895         | - 105            | 11025                |                   |
| 7.  | 3000         | 0                | 0                    |                   |
| 8.  | 3035         | + 35             | 1225                 |                   |
| 9.  | 3245         | + 245            | 60025                |                   |
| 10. | 2735         | - 265            | 70225                | $\bar{x}' = 3000$ |
| 11. | 3045         | + 45             | 2025                 |                   |
| 12. | 2715         | - 285            | 81225                |                   |
| 13. | 3075         | + 75             | 5625                 |                   |
| 14. | 3130         | + 130            | 16900                |                   |
| 15. | 3125         | + 125            | 15625                |                   |
| 16. | 2850         | - 150            | 22500                |                   |
| 17. | 3005         | + 5              | 25                   |                   |
| 18. | 2905         | - 95             | 9025                 |                   |
| 19. | 2730         | - 270            | 72900                |                   |
| 20. | 3115         | + 115            | 13225                |                   |
|     | <u>60070</u> | <u>+ 70</u>      | <u>444150</u>        |                   |

$$\sum x_i = 60070$$

$$\sum (x_i - \bar{x}') = + 70$$

$$\sum (x_i - \bar{x}')^2 = 444150$$

Einsetzen der errechneten Werte in die betreffenden Formeln:

$$a) \bar{x} = 3000 + \left(\frac{1}{20} \cdot 70\right) = 3003,5$$

$$b) s^2 = \frac{1}{20-1} \left[ 444150 - \frac{1}{20} \cdot (70^2) \right] = 23363$$

$$c) s = \sqrt{23363} = 152,7$$

$$d) V = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \% = \frac{152,7}{3003,5} \cdot 100 \% = 5,1 \%$$

6. VERSUCHSREIHE: (Milchsäure - fein angeraute Oberfläche)

| i   | $x_i$        | $x_i - \bar{x}'$ | $(x_i - \bar{x}')^2$ |
|-----|--------------|------------------|----------------------|
| 1.  | 3700         | - 100            | 10000                |
| 2.  | 3595         | - 205            | 42025                |
| 3.  | 3620         | - 180            | 32400                |
| 4.  | 3800         | 0                | 0                    |
| 5.  | 3665         | - 135            | 18225                |
| 6.  | 3805         | + 5              | 25                   |
| 7.  | 4110         | + 310            | 96100                |
| 8.  | 3845         | + 45             | 2025                 |
| 9.  | 3775         | - 25             | 625                  |
| 10. | 3795         | - 5              | 25                   |
| 11. | 3805         | + 5              | 25                   |
| 12. | 3980         | + 180            | 32400                |
| 13. | 3690         | - 110            | 12100                |
| 14. | 3815         | + 15             | 225                  |
| 15. | 3640         | - 160            | 25600                |
| 16. | 4105         | + 305            | 93025                |
| 17. | 3685         | - 115            | 13225                |
| 18. | 3985         | + 185            | 34225                |
| 19. | 3775         | - 25             | 625                  |
| 20. | 3750         | - 50             | 2500                 |
|     | <u>75940</u> | <u>- 60</u>      | <u>415400</u>        |

$\bar{x}' = 3800$

$$\sum x_i = 75940$$

$$\sum (x_i - \bar{x}') = - 60$$

$$\sum (x_i - \bar{x}')^2 = 415400$$

Einsetzen der errechneten Werte in die betreffenden Formeln:

$$a) \bar{x} = 3800 + \left(\frac{1}{20} \cdot (- 60)\right) = 3797$$

$$b) s^2 = \frac{1}{20-1} \left[ 415400 - \frac{1}{20} \cdot (- 60^2) \right] = 21854$$

$$c) s = \sqrt{21854} = 147,8$$

$$d) V = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) \cdot 100 \% = \frac{147,8}{3797} \cdot 100 \% = 3,9 \%$$

Zum Schluss möchte ich meiner verehrten Lehrerin Frau Professor Dr.Dr. M. SCHUG-KÖSTERS herzlich danken für die Überlassung des interessanten Themas.

Bester Dank sei auch an dieser Stelle Herrn Privatdozent Dr.Dr. W. KETTERL und Herrn Dr.Dr. H. SCHACH ausgesprochen für die verständnisvolle Beratung bei der Anordnung und Durchführung der Versuche, sowie für die Durchsicht des Manuskriptes.

Herrn Ingenieur W. DAHMS danke ich für die Mithilfe bei der Konstruktion der Abreissapparatur.

## L E B E N S L A U F

Am 22. Dezember 1924 wurde ich, Hans-Joachim Gutsche, als Sohn des Zahnarztes Bernhard Gutsche und seiner Ehefrau Gertrude, geb. Radke, in Landsberg/Warthe geboren.

Von 1930 bis 1934 besuchte ich die Volksschule in Landsberg/Warthe und anschliessend die staatliche Oberschule für Jungen in Landsberg/Warthe, die ich im März 1942 mit dem Zeugnis der Reife verliess.

In den Jahren 1942 bis 1945 war ich Soldat und geriet zum Kriegsende in Gefangenschaft, aus der ich ein halbes Jahr später entlassen wurde.

Ich erlernte das Zahntechnikerhandwerk und übte diesen Beruf bis zum Jahre 1954 aus.

Im Herbst 1954 begann ich an der Universität München das Studium der Zahnheilkunde. Die zahnärztliche Vorprüfung bestand ich im Sommer 1956 und im Frühjahr 1959 legte ich die zahnärztliche Prüfung ab.

Seit dem Sommer 1959 bin ich als Assistent bei einem Zahnarzt tätig.







